

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2010

Ondřej Zubek

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektrických strojů a přístrojů**

**Realizace měřicího pracoviště pro měření na  
kontaktech**

**Contacts measuring**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal, jsem uvedl v seznamu použitých informačních zdrojů.

V Ostravě, dne: 7.5.2010

.....

Ondřej Zubek

## Poděkování

Chci poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Hytkovi, CSc. za cenné rady a připomínky, které mi pomohly k vytvoření této práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Zdeňku Kubalovi a svému kolegovi Martinu Vandovi za pomoc s výrobou přípravku pro měření.

## **Abstrakt**

Ve své práci bych rád shrnul několik nejdůležitějších poznatků o elektrických kontaktech a jejich vlastnostech. Zabývám se zde parametry, které ovlivňují velikost stykového odporu, jenž je hlavním kritériem jakosti kontaktů. Cílem mé práce bylo realizovat měřicí pracoviště pro měření na kontaktech. Pro samotné měření jsem navrhl a vyrobil přípravek pro nastavování přitlačné síly kontaktů. Sestavil jsem pracoviště s vhodnými podmínkami pro měření a ověřil jsem jeho funkci několika měřeními. V závěru práce jsou popsána měření, které jsem provedl v rámci mé bakalářské práce v laboratořích VŠB-TUO.

## **Klíčová slova**

Elektrický kontakt, stykový odpor, rezistivita, přitlačná síla kontaktu, tepelné ztráty, elektrický oblouk.

## **Abstract**

In my work I would like to summarize several important pieces of knowledge of electric contacts and their attributes. I deal with parameters that influence the size of the contact resistance which is the main criterion of the contact quality. The purpose of my work was to realize a gauging workplace for mensuration the contacts. For the mensuration I devised and produced a preparation for setting the contact force. I constructed the workplace with appropriate conditions for the mensuration and I verified the function with several mensurations. The mensurations that I pursued during the elaboration of my bachelor work in the labs of VŠB – TUO are described in the conclusion of my work.

## **Key words**

Electrical contact, contact resistance, resistivity, contact force, heat loss, electric arc.

## Seznam použitých symbolů

$f$	frekvence	(Hz)
$k_n$	součinitel zahrnující vlastnosti vrstev a poměry v místě styku	( $\Omega$ )
$m$	Exponent, který ovlivňuje typ styku	(-)
$F_c$	Celková přítláčná síla můstkového kontaktu	(N)
$F_k$	Přítláčná síla kontaktu	(N)
$I$	Proud procházející kontaktem	(A)
$I_{0min}$	Minimální proud potřebný ke vzniku oblouku	(A)
$R_1$	Odpor prvního kontaktu a části proudové dráhy	( $\Omega$ )
$R_2$	Odpor druhého kontaktu a části proudové dráhy	( $\Omega$ )
$R_P$	Odpor cizích vrstev kontaktu	( $\Omega$ )
$R_s$	Stykový odpor kontaktu	( $\Omega$ )
$R_{sm}$	Stykový odpor na mezi měknutí	( $\Omega$ )
$R_{ss}$	Stykový odpor na mezi sváření	( $\Omega$ )
$R_u$	Odpor úžiny (místa styku)	( $\Omega$ )
$U_{R1}$	Úbytek napětí na $R_1$	(V)
$U_{R2}$	Úbytek napětí na $R_2$	(V)
$U_{sm}$	Napětí na mezi měknutí	(V)
$U_{ss}$	Napětí na mezi sváření	(V)
$U_{zmin}$	Minimální napětí potřebné ke vzniku oblouku	(V)
$\rho$	Rezistivita (měrný elektrický odpor)	( $\Omega.m$ )

<b>Obsah:</b>	<b>-1-</b>
<b>Úvod</b>	<b>-2-</b>
<b>1. Vlastnosti kontaktů</b>	<b>-3-</b>
1.1 Stykový odpor	-3-
1.1.1 Cizí vrstvy na kontaktech	-6-
1.1.2 Odpor cizích vrstev	-7-
1.1.3 Odpor úžin	-7-
1.2 Změna stykového odporu během provozu	-8-
1.3 Provozní stavy spínacích kontaktů	-8-
1.4 Rozdělení kontaktů	-9-
<b>2. Problematika měření přitlačné síly</b>	<b>-10-</b>
2.1 Siloměry	-10-
2.2 Snímače pro měření síly	-10-
2.3 Tenzometry	-11-
<b>3. Realizace měřicího pracoviště</b>	<b>-13-</b>
3.1 Popis a fotky přípravku pro měření	-13-
3.2 Osazení kontaktů na přípravku	-14-
3.3 Seřízení přípravku pro měření přitlačné síly	-15-
<b>4. Ověření funkce na vybraném kontaktu o jmenovitém proudu 16 A</b>	<b>-16-</b>
4.1 Měření RU charakteristiky	-17-
4.2 Měření závislosti stykového odporu na přitlačné síle	-20-
4.3 Zhodnocení obou měření	-21-
<b>5. Závěr</b>	<b>-22-</b>
<b>6. Seznam použité literatury</b>	<b>-23-</b>
<b>7. Přílohy</b>	<b>2</b>

# Úvod

Cílem mé práce je zrealizovat a odzkoušet měřicí pracoviště pro měření na kontaktech. Tato práce je dělena do čtyř hlavních částí.

V první části se zabývám vlastnostmi elektrických kontaktů. Zaměřil jsem se na faktory, které ovlivňují velikost jejich stykového odporu a na to, jak se stykový odpor mění při provozu. V druhé části jsem se věnoval problematice měření přítlačné síly. V třetí části mé práce je popsán přípravek, který jsem vyrobil v rámci realizace měřicího pracoviště, a slouží k nastavování přítlačné síly kontaktů. Je zde jeho stručný popis, jsou zde popsány vlastnosti přípravku a způsob, kterým je potřeba přípravek před samotným měřením seřídit. Ve čtvrté části jsem uvedl měření na kontaktech stykače, kterými jsem odzkoušel funkčnost měřicího pracoviště.



# 1 Vlastnosti kontaktů

Kontakty jsou elektrické spoje, které slouží k propojování a přerušování proudové dráhy v elektrických spínacích přístrojích. Hlavním kritériem jakosti kontaktu je přechodový odpor styku, ten má vliv na velikost tepelných ztrát na styku. Kontaktní spojení patří v přístroji k nejvýznamnějším zdrojům tepla. Jsou na ně kladeny značné požadavky.

Všeobecně můžeme říci, že kontakty by měli mít:

- a) malý stykový odpor;
- b) velkou odolnost proti mechanickému opotřebení;
- c) velkou odolnost proti sváření;
- d) velkou odolnost proti opalování elektrickým obloukem;
- e) dobrou spínací schopnost.

[ 1,4 ]

## 1.1 Stykový odpor

Stykový odpor  $R_s$  je tvořen dvěma složkami: odporem úžin  $R_u$  a odporem cizích vrstev  $R_p$ . Pro stykový odpor platí vztah:

$$R_s = R_u + R_p$$

Stykový odpor kontaktů můžeme za určitých podmínek změřit nebo vypočítat jeho přibližnou hodnotu. Velikost stykového odporu ovlivňují různé faktory:

- a) přitlačná síla kontaktů  $F_k$  a mechanické vlastnosti kontaktního materiálu.
- b) teplota a elektrický proud

### a) Závislost stykového odporu na přitlačné síle

Stykový odpor můžeme vypočítat ze vztahu:

$$R_s = \frac{k_n}{(F_k / F_1)^m} \quad (\Omega; \Omega, N, N)$$

kde  $F_1 = 1 \text{ N}$ .

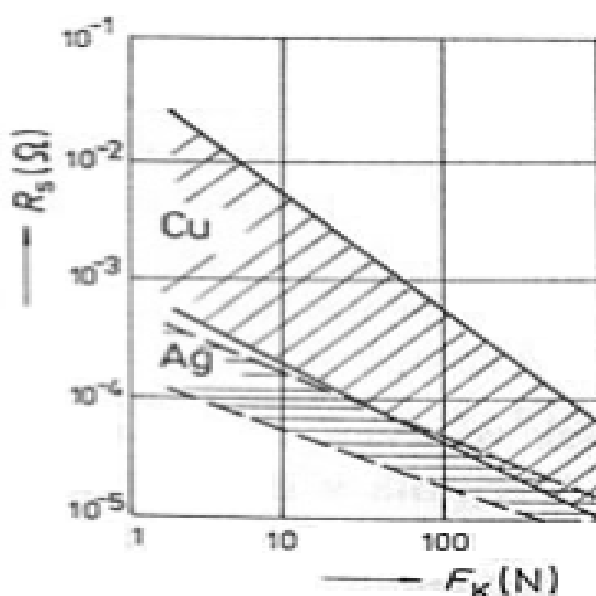
Exponent  $m$  ovlivňuje nejvíce typ styku kontaktu.

Velikost exponentu  $m$  podle typu styku kontaktu:

pro bodový styk	$m = 0,5$ ,
pro přímkový styk	$m = 0,5$ až $0,7$ ,
pro plošný styk	$m = 0,6$ až $1$ .

Vlastnosti materiálu, vlastnosti vrstev a poměry v místě styku zahrnuje součinitel  $k_n$ . Jeho velikost se mění u některých materiálů v širokých mezích, pro měď a stříbro je  $k_{Cu} = (15 \text{ až } 400) \cdot 10^{-4} \Omega$ ,  $k_{Ag} = (3,8 \text{ až } 12) \cdot 10^{-4} \Omega$ .

Přítlačná síla  $F_k$  ovlivňuje velikost plochy styku kontaktů a tím i velikost stykového odporu. Závislost stykového odporu  $R_s$  na přítlačné síle  $F_k$  pro měděné a stříbrné kontakty je naznačena na obr. 1.



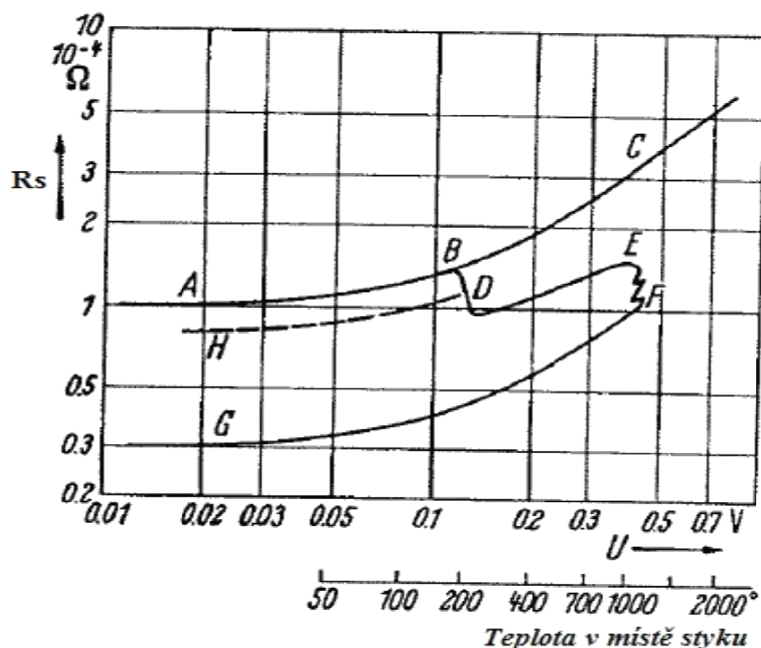
Obr. 1 Závislost stykového odporu na přítlačné síle pro  $Cu$  a  $Ag$

[ 1 ]

## b) Závislost stykového odporu na teplotě a elektrickém proudu

Elektrický proud protékající kontaktním spojením působí tepelné ztráty, které mění teplotu a měrný odpor kontaktů. Typická závislost stykového odporu na teplotě měděného kontaktu je znázorněna na obr. 2. Teplotní stupnice je přecejchovaná na napěťovou, tím dostáváme RU-charakteristiku kontaktu.

[ 5 ]



Obr. 2 Typická RU–charakteristika měděného kontaktu

S rostoucí teplotou se zvětšuje stykový odpor kontaktu (oblast A až B) až do té doby, než začne materiál kontaktů měknout a stykový odpor se vlivem zvětšujícího se průřezu stykových míst zmenšuje (oblast B až D). Při dalším zvyšování teploty se mechanické vlastnosti materiálu nemění a stykový odpor se dál zvětšuje (oblast D až E) až do meze, kdy dojde ke svaření kontaktů (oblast E až F).

Pokud se teplota kontaktu začne snižovat, stykový odpor začne klesat podle vratné křivky (v grafu oblasti D až H a F až G) odpovídající průběhu tepelné změny měrného odporu.

[ 6 ]

Teploty na mezi měknutí a svaření kontaktních materiálů je možné převést na velikost napětí v daných bodech a tato napětí jsou rozhodující pro stanovení stykového odporu pro daný kontaktní materiál a příslušný proud.

Stykový odpor na mezi měknutí:

$$R_{sm} \leq \frac{U_{sm}}{2I_n}$$

Stykový odpor na mezi sváření:

$$R_{ss} \leq \frac{U_{ss}}{n \cdot 2 \cdot I_k}$$

Tabulka č. 1 Teploty a napětí na mezi měknutí a svaření pro některé kontaktní materiály

Materiál	Měknutí		Svaření	
	$\vartheta_{sm}$ (°C)	$U_{sm}$ (V)	$\vartheta_{ss}$ (°C)	$U_{ss}$ (V)
Měď	190	0,12	1083	0,37
Hliník	150	0,10	658	0,30
Stříbro	180	0,09	960	0,37
Molybden	900	0,25	2610	0,75
Nikl	520	0,22	1455	0,65
Wolfram	1000	0,60	3380	1,10

[ 4 ]

### 1.1.1 Cizí vrstvy na kontaktech

Vznikají interakcí materiálu a okolního prostředí. Tyto vrstvy mají chemický, nebo mechanický původ a většinou mají horší elektrické vlastnosti než materiál, z kterého je kontakt vyroben.

Chemické vrstvy na kontaktech vznikají interakcí čistého kovu s kyslíkem nebo jinými sloučeninami. Při této interakci vzniká na povrchu kontaktů vrstva. Molekuly absorbovaného plynu se rozpadnou na atomy. Tyto atomy na sebe poutají elektrony z povrchu kovu a tím se na kontaktu vytvoří vrstva záporných iontů. Tato vrstva je k povrchu vázaná kovalentní nebo iontovou vazbou. Tvoří se na ní ještě další vrstvy, které mají slabší vazbu a tvoří se pomalu. Nejčastěji vznikají na kontaktech oxidy, pak vrstvy sulfidů a chloridů. Rezistivita chemické vrstvy spadá do oblasti polovodičů a izolantů.

[ 1 ]

Souvislé mechanické vrstvy na kontaktech vytvářejí jen tuky. Ty se vážou na povrch tak, že vytvoří mononukleární vrstvu, která se nazývá epilamen. Její vazba k povrchu kontaktu je tak silná, že se z mechanického hlediska chová jako samotný povrch kontaktu. Na ní se tvoří další vrstvy tuku, ty mají volnější vazbu. Působením tlaku mezi kontakty jsou tyto vrstvy vytlačovány. V místě styku zůstávají jen molekuly, které se stýkají přímo s kovem. Tuky jsou nevodivé látky. K průchodu proudu přes tuto tenkou izolační vrstvu dochází pomocí Tunelového jevu. Mechanické vrstvy můžou obsahovat i látky, které se vážou na mastný povrch kontaktů. Patří mezi ně prach a jiné nečistoty, které se dostanou na stykové povrchy kontaktů. Tyto nečistoty zabraňují vytlačování tuku z místa styku kontaktů. Na povrchu pak nezůstává jen základní mononukleární vrstva, ale silnější vrstva, která podstatně snižuje vodivost styků.

[ 5 ]

### 1.1.2 Odpor cizích vrstev

Velmi tenké vrstvy (řádově nm) nezpůsobují podstatné zvýšení odporu, protože jimi elektrony pronikají pomocí tunelového jevu a termoionickou emisí.

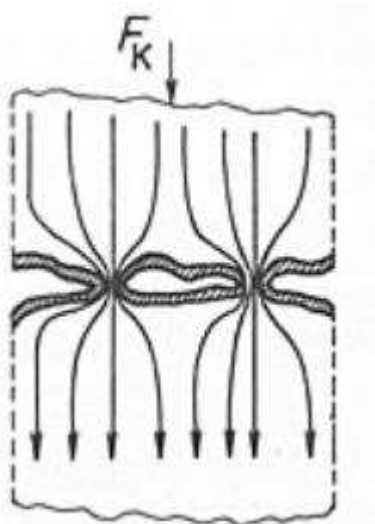
U tlustších vrstev se tunelový jev neuplatňuje. Stykový odpor může mít za určitých podmínek menší velikost, než jaká odpovídá vlastnostem vrstvy, protože si zachová kovový charakter. Bývá to důsledkem vzniku kovových můstků napříč izolační vrstvou. U kontaktů s poměrně malými přitlaky vznikají kovové můstky elektrickým rozrušením vrstev. U kontaktů s velkými přitlaky vznikají můstky mechanickým rozrušením izolační vrstvy.

Vliv cizích vrstev na stykový odpor je tím větší, čím menší je kontaktní tlak a čím je vrstva tlustší. Cizí vrstvy se však podílí na zvyšování stykového odporu sekundárně, protože stykový odpor má vždy kovový charakter. [ 1 ]

### 1.1.3 Odpor úžin

Vlivem mikroskopické nerovnosti povrchu kontaktů nedochází ke styku v celé ploše, ale jen v několika mikroskopických ploškách. Jejich počet a velikost závisí nejen na nerovnosti povrchu, ale i na velikosti přitlačné síly kontaktů  $F_k$  a na mechanických vlastnostech materiálu, z kterého je kontakt vyroben. Protéká-li kontaktem elektrický proud, dochází k zakřivení proudové dráhy právě do těchto stykových plošek a tím i k jejímu prodloužení. Vznikají tak proudové úžiny (viz obr. 3). Tohle zakřivení, spolu se změnou průřezu, kterým proud prochází, způsobuje zvýšení elektrického odporu místa styku. Tento odpor nazýváme odporem úžiny  $R_u$ .

[ 1 ]



Obr. 3 Průchod proudu proudovými úžinami v místě styku kontaktů

## 1.2 Změna stykového odporu během provozu

Stykový odpor sepnutého kontaktu se při provozu mění. Prochází-li kontaktem proud, vznikají v místě styku tepelné ztráty. Teplota kontaktů je pak vyšší, než teplota přívodů. Působením vyšší teploty a okolního prostředí dochází k oxidaci povrchu stykových míst. Tloušťka této vrstvy se časem zvětšuje, narůstá i stykový odpor a velikost napětí na kontaktech. Gradient elektrického pole a teploty následně rozruší zoxidovanou vrstvu a stykový odpor se pak zmenší zhruba na počáteční hodnotu. Celý děj se pak opakuje (viz obr. 4).



Obr. 4 Změna odporu sepnutých kontaktů v provozu

Může se stát, že vzniklá vrstva oxidu bude tak pevná, že už k jejímu rozpadu nedojde. V tomto případě se bude stykový odpor a teplota styku kontaktu růst do té doby, než se kontakt poškodí.

Fyzikální děje, které probíhají v kontaktech, jsou značně složité a mění se podle použitého materiálu, okolí v kterém se kontakt nachází, konstrukce kontaktu, při spínání i rozpínání obvodu.

[ 3 ]

## 1.3 Provozní stavy spínacích kontaktů

Elektrické kontakty se mohou nacházet ve dvou klidových a dvou přechodových stavech. V klidovém stavu jsou kontakty rozpojené nebo sepnuté. Rozpojené kontakty musí mít vzdálenost tak velkou, aby mezi nimi nedošlo k průrazu a tím byl spolehlivě přerušený obvod. K přechodovým stavům dochází při zapínání a vypínání.

Při zapínání kontaktů se jejich vzájemná vzdálenost zmenšuje. V určitém okamžiku dojde k průrazu a vznikne mezi kontakty elektrický oblouk. Při setkání kontaktů oblouk zhasne. Nepřejde-li celá kinetická energie pohybujícího se kontaktu v podobě tepla do okolního prostředí, kontakt po prvním dotyku odskočí a pak se znovu vrátí. To se může opakovat. Dochází ke chvění kontaktů, při kterém vzniká opět oblouk, nebo jiskrový výboj. Vhodným návrhem pohybového ústrojí jde chvění kontaktů odstranit a zmenšit tak jejich opotřebení obloukem.

U zapínání může dojít vlivem tepla oblouku ke svaření kontaktů, proto je vhodné používat na kontakty těžko tavitelné materiály (wolfram, molybden, tantal). U nich však dochází ke zvyšování stykového odporu kvůli okysličování v sepnutém stavu. Vhodnější je používat slitiny wolframu a mědi, wolframu a stříbra, nebo kombinace kovů a kysličníku.

Při vypínání kontaktů se postupně zmenšuje přitlačná síla, která v sepnutém stavu působí na kontakty a zmenšuje se i plocha styku kontaktů. Zvětšuje se přechodový odpor, úbytek napětí na kontaktech a teplota kontaktů. Materiál se kvůli vysoké teplotě začne téměř vždy tavit. Při oddálení kontaktů mezi nimi vzniká tekutý vodivý můstek z roztaveného materiálu. Při dalším oddalování se můstek rozpadne a vzniká mezi kontakty elektrický výboj. Jestliže napětí a proud překročí kritické hodnoty uvedené v tabulce 2, zapálí se oblouk. Pokud napětí překročí kritickou hodnotu a proud nepřekročí kritickou hodnotu, dochází ke vzniku jiskrového výboje

Tabulka č. 2 Minimální proud a napětí, potřebné ke vzniku oblouku (při relativní vlhkosti okolního vzduchu 35 až 60 %).

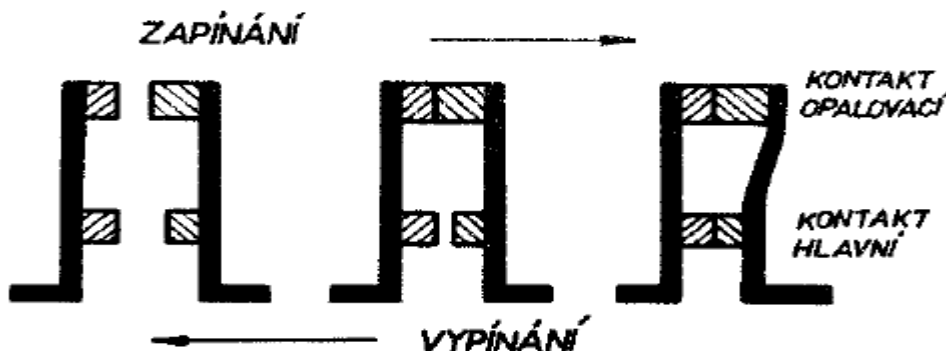
Materiál elektrod	Napětí $U_{zmin}$ (V)	Proud $I_{0min}$ (A)
stříbro	12	0,4
zlato	15	0,38
měď	13	0,43
platina	17	0,9
wolfram	10	1
slitina platiny a iridia	20	0,74
slitina stříbra s 10 % zlata	11	0,25
slitina stříbra s 40 % niklu	13	-
slitina stříbra s 10 % paladia	11	0,3

[ 3 ]

## 1.4 Rozdělení kontaktů

Kontakty dělíme podle jejich funkce na hlavní a opalovací. Při vypínání se hlavní kontakty rozpojí dříve než opalovací, to zabraňuje opotřebení hlavních kontaktů, protože elektrický oblouk vzniká pouze mezi opalovacími kontakty.

[ 5 ]



Obr. 5 Uspořádání a činnost kontaktního systému s opalovacími kontakty

## 2 Problematika měření přitlačné síly

Síla se měří zpravidla pomocí jejich deformačních účinků, nebo vyvolanými změnami elektromagnetických vlastností prostředí. Pro měření tlakové síly se používají většinou tenzometry a siloměry.

### 2.1 Siloměry

Siloměry jsou přístroje pro měření síly. Vlastní prodloužení snímače siloměru je téměř nulové. Měření síly je většinou založeno na využití deformačních členů. Pomocí nich se převádí síla na deformaci nebo výchylku.

Siloměry lze rozdělit podle:

**Technického provedení:**

- mechanické
- digitální

**Provedení pružné části siloměru:**

- krabicový, v němž se měření síly převádí na měření tlaku v kapalině
- kroužkový
- pružinový
- torzní
- smyčkový

**Podle směru a účinku působící síly:**

- tahové
- tlakové
- zkrutné

[ 9 ]

### 2.2 Snímače pro měření sil

Snímače pro měření sil slouží ke snímání statické či dynamické síly pomocí jejího účinku. Vyrábí se v mnoha mechanických provedeních s různými rozsahy. Podle fyzikální veličiny, na kterou převádí sílu, rozlišíme snímače na mechanické a elektrické. Nejrozšířenější jsou elektrické tenzometrické snímače síly.



### **Elektrické snímače se dělí:**

- odporové (tenzometrické, se stykovým odporem, snímače polohy k mechanickým snímačům síly)
- indukčnostní
- magnetické (magnetoelastické, magnetoanizotropní, s inverzí Wiedemanonova jevu)
- kapacitní
- piezoelektrické

### **Mechanické snímače se dělí:**

- pákové
- pružinové
- hydraulické

[ 7 ]

## **2.3 Tenzometry**

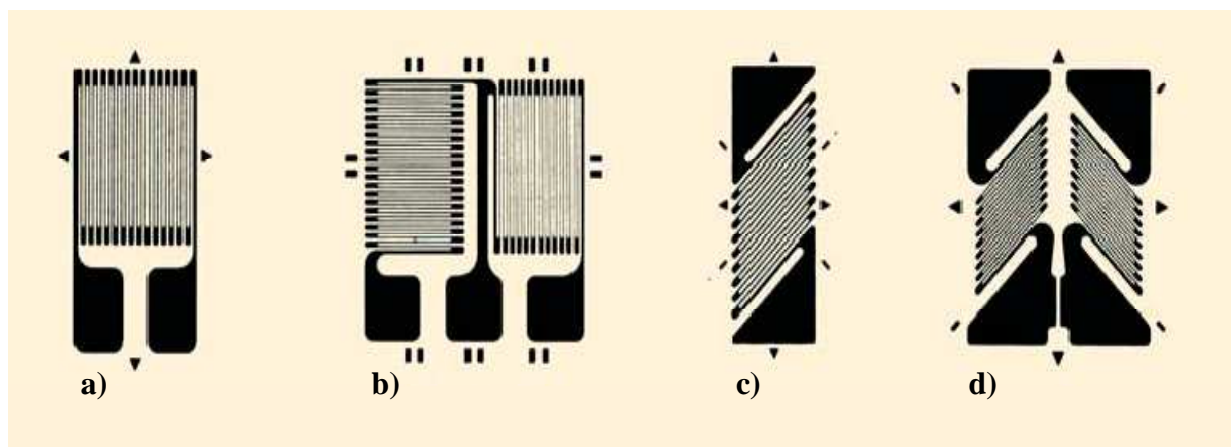
Tenzometry se používají k měření deformace. Převod tlakové a tahové síly na deformaci se provádí pomocí pružných prvků, na jejichž povrch jsou nalepeny tenzometry.

Pružný prvek musí mít tyto vlastnosti:

- dostatečnou pevnost a odolnost proti porušení
- vysokou mez pružnosti
- minimální hysterezi a dopružování materiálu
- dlouhodobou stabilitu mechanických veličin
- lineární průběh pružné deformace v měřeném rozsahu
- minimální vnitřní pnutí

Tenzometry se vyrábí ve dvou základních provedeních - v kovovém a polovodičovém. Jsou-li kovové i polovodičové tenzometry, napájené stejnosměrným nebo střídavým proudem, vystaveny mechanické deformaci působené měřenou veličinou, mění ohmický odpor. Změna ohmického odporu u kovových tenzometrů je způsobena změnou průřezu drátku (fólie) měřicí mřížky a její délky, u polovodičových tenzometrů ve tvaru tyčinky je způsobena především změnou jejího měrného odporu, to je primární projev piezorezistentního jevu.

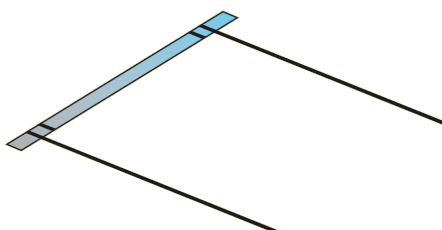
Kovové tenzometry se používají pro měření torzní povrchové deformace a pro měření povrchové deformace v tahu a tlaku v určeném směru. Uplatňují se tam, kde je vyžadována velká přesnost.



Obr. 6 Fóliové mřížky kovových tenzometrů pro měření deformací v tahu a tlaku (a), deformací v rovině (b), krouticího momentu (c) a torzní povrchové deformace (d)

Polovodičové tenzometry se uplatňují spíše tam, kde je potřeba větší citlivost měření. Svou citlivostí umožňují použití v senzorech miniaturních rozměrů s vysokou tuhostí měřicího členu pro měření v širokém frekvenčním rozsahu. Polovodičové tenzometry jsou téměř výhradně používány v senzorech mechanických veličin. K měření deformačních polí se používají pouze výjimečně v případech, kdy je třeba měřit extrémně malé deformace a na malé ploše. Citlivost polovodičových tenzometrů je přibližně 60x větší než u kovových tenzometrů, to umožňuje konstruovat senzory (síly, krouticího momentu, dráhy, tlaku, zrychlení a výjimečně poměrné deformace v extenzometrech) velmi malých rozměrů s vysokou tuhostí jejich měřicích členů. Důsledkem je široký frekvenční rozsah měření od statických hodnot až do několika kilohertzů.

[ 8 ]



Obr. 7 Polovodičový tenzometr

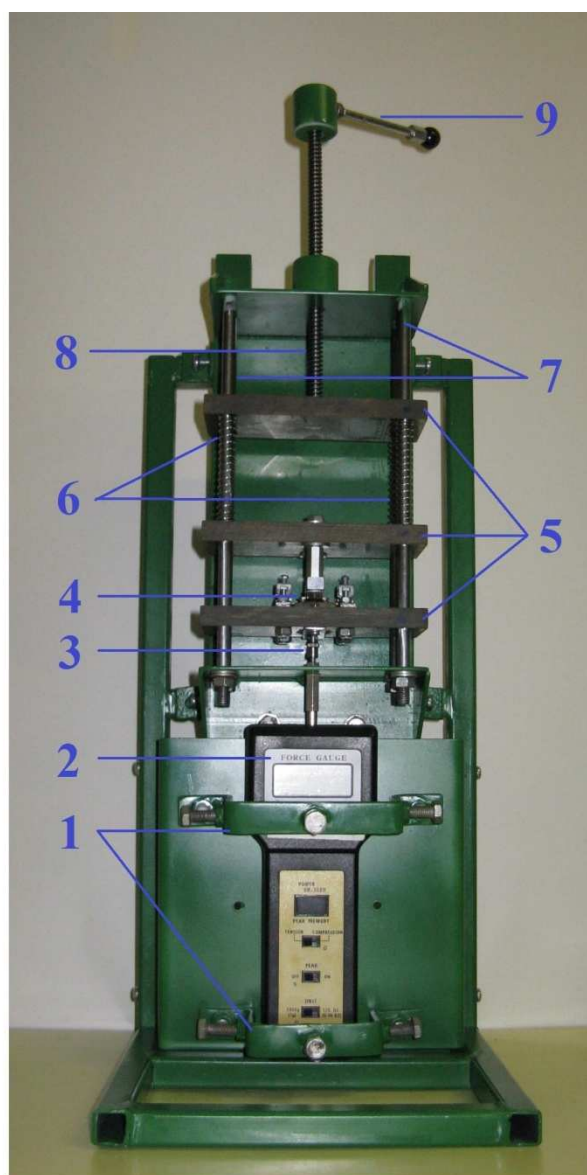
### 3. Realizace měřicího pracoviště

V rámci realizace měřicího pracoviště pro měření na kontaktech, jsem navrhl a sestrojil přípravek, který umožňuje nastavovat velikost přitlačné síly mezi kontakty. Kontakty jsou umístěny na pohyblivých destičkách přípravku (Obr. 8), které můžeme tlačit proti sobě. Otáčením šroubu klikou, který přes vrchní destičku stlačuje pružiny, nastavujeme tlakovou sílu. Velikost přitlačné síly kontaktů měříme siloměrem, který je připevněn ve spodní části přístroje. Pro měření síly jsem použil siloměr Lutron FG-5000. Jeho technické parametry jsou v příloze.

#### 3.1 Popis a fotky přípravku pro měření



**Pohled z boku**



**Pohled ze předu**

Obr. 8 Přípravek pro měření na kontaktech

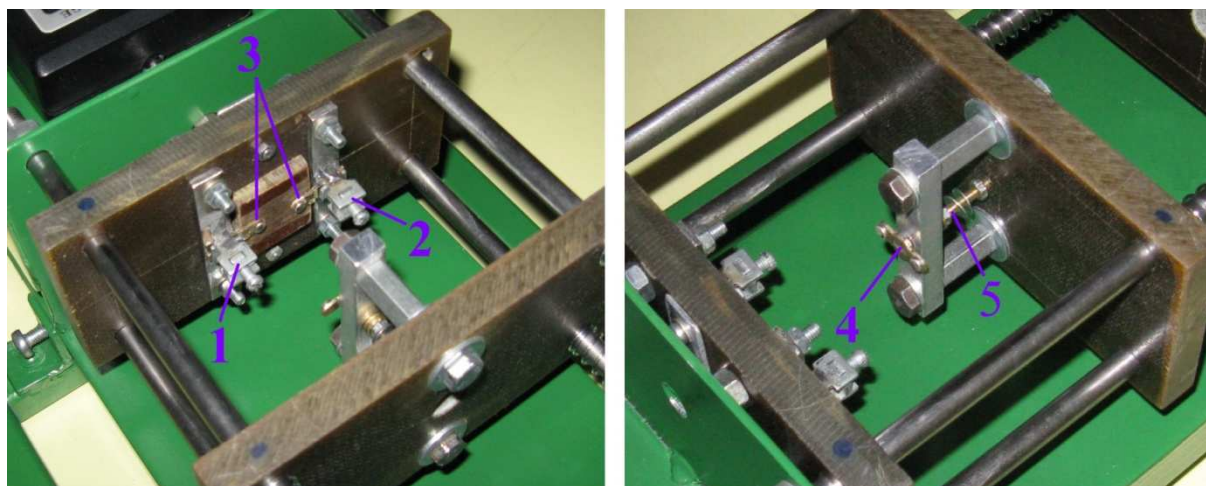
#### Popis přípravku:

- 1 - Držáky na tenzometr
- 2 - Tenzometr
- 3 - Tlakové čidlo tenzometru
- 4 - Kontaktní spojení
- 5 - Pohyblivé destičky na vodících tyčích
- 6 - Pružiny
- 7 - Vodící tyče
- 8 – Trapézový šroub
- 9 – Klika na otáčení šroubu

Výkresová dokumentace přípravku je v příloze.

### **3.2 Osazení kontaktů do přípravku**

Kontakty jsou připevněny na destičky přístroje (obr. 9) tak, že středy destiček, střed kontaktního můstku (4) a střed vzdálenosti mezi spodními kontakty (3) jsou v jedné ose. Celková přitlačná síla by se měla v ideálním případě rovnoměrně rozdělit na oba kontakty můstku.



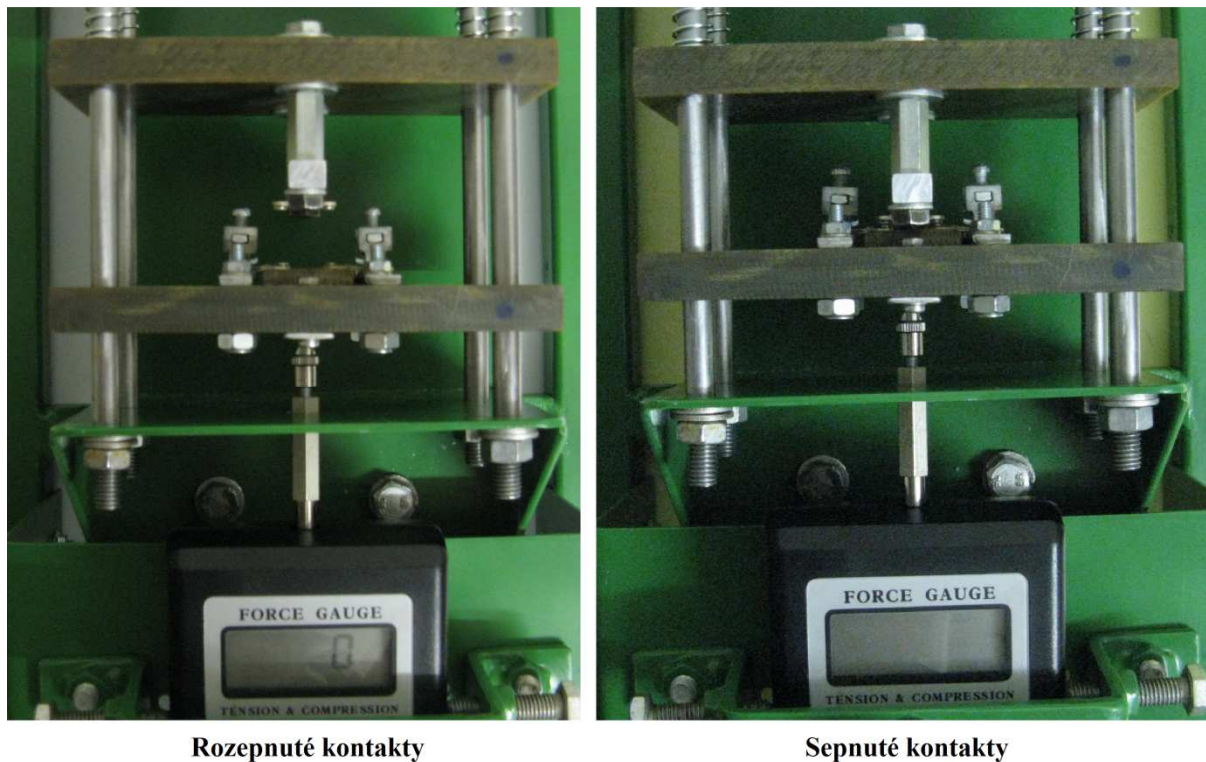
Obr.9 Osazení kontaktů

#### Popis osazení:

- 1,2 – svorky pro připojení proudového zdroje a voltmetrů
- 3 – spodní kontakty můstku
- 4 – horní kontakty můstku
- 5 – svorka pro připojení voltmetrů

### 3.3 Seřízení přípravku pro měření přitlačné síly

Před měřením přitlačné síly, kterou přípravek stlačuje kontakty stykače, je potřeba přípravek seřídit.



Obr. 10 Seřizování přípravku pro měření přitlačné síly

Přípravek se musí postavit na vodorovnou plochu tak, že tenzometr upnutý v přípravku bude dole a klika šroubu nahoře. Aby tlakoměr ukazoval skutečnou hodnotu celkové přitlačné síly, musí se kontakty před měřením rozpojit a siloměr vynulovat (viz obr. 10). Pak kontakty sepne a můžeme nastavovat potřebnou sílu.

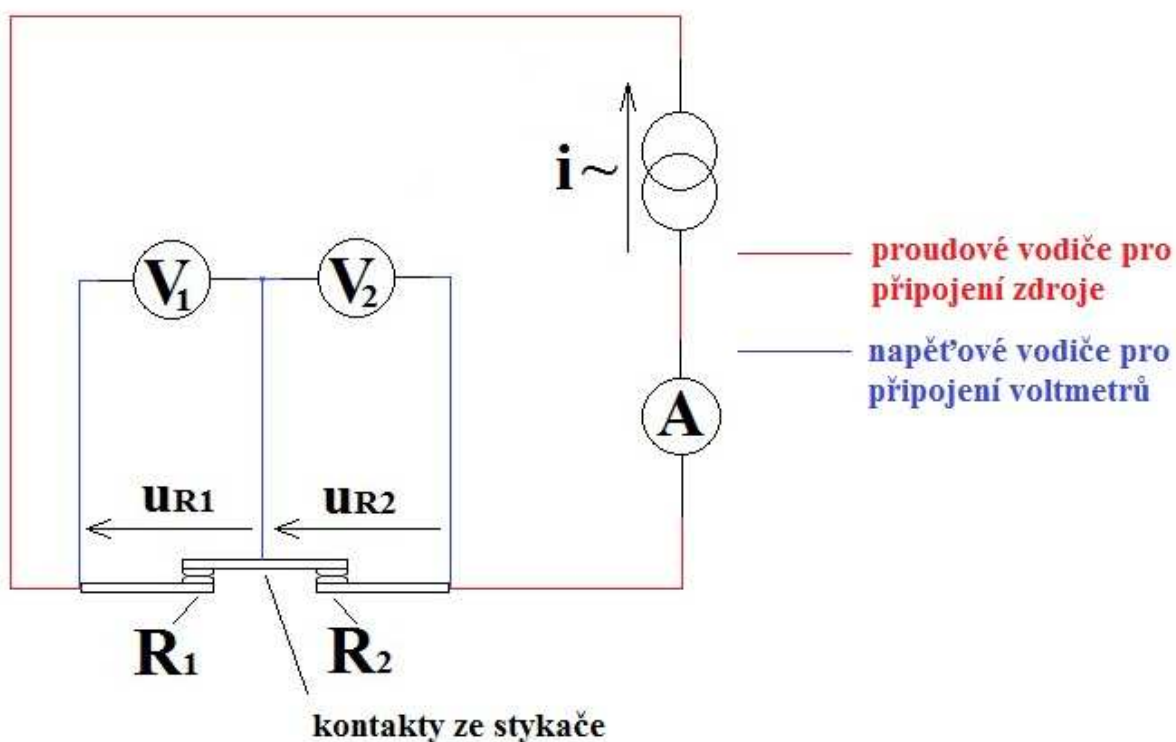
Celkovou přitlačnou sílu můžeme nastavovat maximálně do 50 N, to je dáno rozsahem použitého siloměru.



#### 4. Ověření funkce na vybraném kontaktu o jmenovitém proudu 16A

Měřil jsem na hlavních kontaktech stykače V16M (stř. 500V, 16A, AC3). Kontakty osazené v přípravku jsem připojil k proudovému zdroji silnými vodiči. Proudový zdroj umožňuje nastavovat velikost proudu, který bude procházet kontakty. Na jeden vodič jsem připojil klešťový ampérmetr pro měření proudu. Pak jsem připojil ke svorkám kontaktů voltmetry pro měření úbytku napětí (viz obr. 11).

##### Schéma zapojení:



Obr. 11 Schéma zapojení pro měření stykového odporu

##### Použité měřicí přístroje:

$V_1$  - Multimetr UNITEST Hexagon 320, inv. č. 300/281

$V_2$  - Multimetr CEM DT-9602

A - Klešťový ampérmetr – ESCORT ETC 670, inv. č. 106/588

Metex M-3860M, inv. č. 305/2920

Školní proudový zdroj (0-600A)

## 4.1 Měření RU charakteristiky

Měřil jsem při konstantní celkové přítláčné síle  $F_c=7,6$  N obou kontaktů. Nastavoval jsem velikost proudu  $I$  ( $s f=50$  Hz) procházejícího kontaktem v rozsahu 5-100 A. Pro každou hodnotu proudu jsem změřil úbytky napětí na obou kontaktech ihned po zvýšení proudu a po ustálení napětí (viz Tabulka č. 3). Z úbytků napětí na kontaktech a procházejícího proudu jsem spočítal odpory kontaktů. Výsledky měření jsem znázornil v grafech (Graf č. 1,2).

### Naměřené a vypočtené hodnoty

Tabulka č. 3 Měření RU-charakteristiky

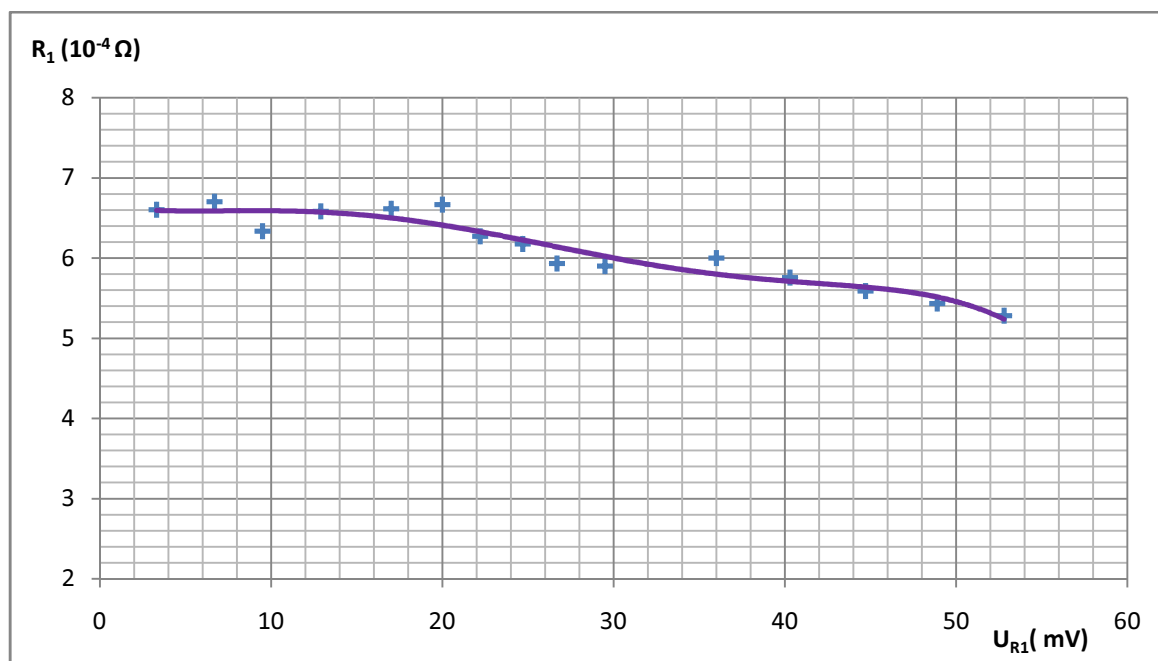
	okamžité hodnoty				ustálené hodnoty			
I	U <sub>R1</sub>	U <sub>R2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	U <sub>R1</sub>	U <sub>R2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
A	mV	mV	Ω	Ω	mV	mV	Ω	Ω
5	3,3	4,8	0,00066	0,00096	3,2	4,2	0,00064	0,00084
10	6,7	8,6	0,00067	0,00086	6,5	8,5	0,00065	0,00085
15	9,5	13,4	0,000633	0,000893	10	12	0,000667	0,0008
19,6	12,9	16,2	0,000658	0,000827	12,4	16,8	0,000633	0,000857
25,7	17	24	0,000661	0,000934	16,5	23,8	0,000642	0,000926
30	20	28,4	0,000667	0,000947	19,1	25,8	0,000637	0,00086
35,4	22,2	30,3	0,000627	0,000856	21,3	28,3	0,000602	0,000799
40	24,7	34	0,000618	0,00085	23,4	31,2	0,000585	0,00078
45	26,7	34,5	0,000593	0,000767	26,3	33	0,000584	0,000733
50	29,5	38,2	0,00059	0,000764	29,4	35,5	0,000588	0,00071
60	36	44,1	0,0006	0,000735	34,4	41,4	0,000573	0,00069
70	40,3	50,4	0,000576	0,00072	39	46,5	0,000557	0,000664
80	44,7	53,6	0,000559	0,00067	42,9	51,3	0,000536	0,000641
90	48,9	58,9	0,000543	0,000654	46,8	56	0,00052	0,000622
100	52,8	63,2	0,000528	0,000632	51,5	59,5	0,000515	0,000595

Zkoušeli jsme i nastavit proud na desetinásobek jmenovité hodnoty, to je 160 A. Kontakty se i při tak velkém proudu neslepily.

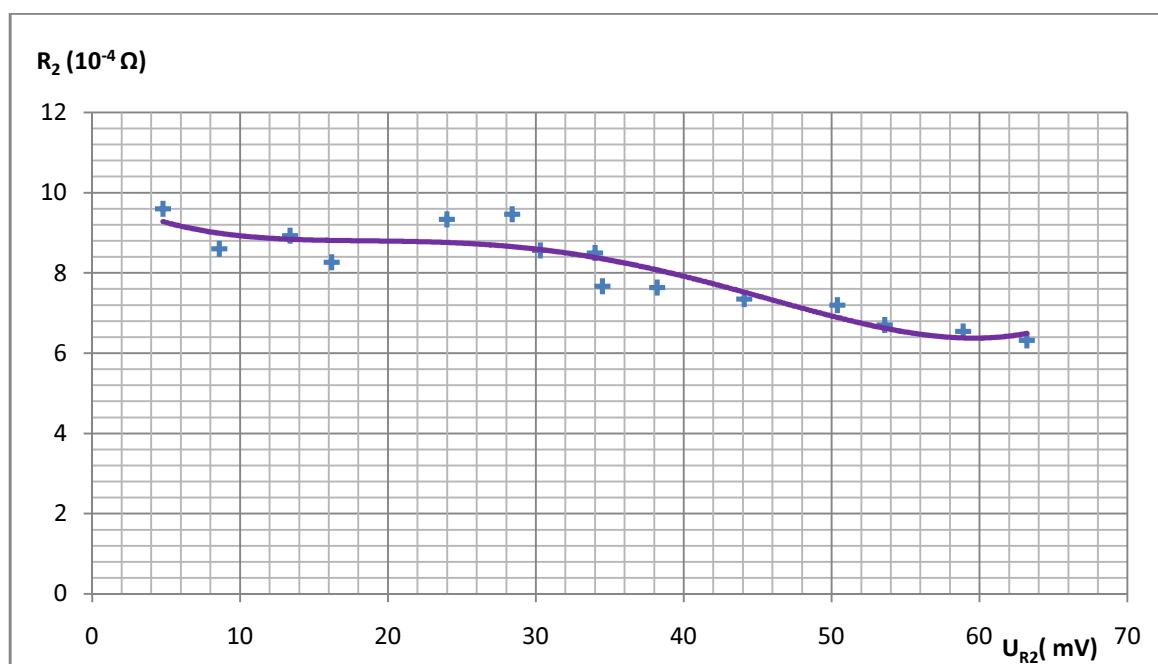
Tabulka č. 4 Měření při I=160A

	okamžité hodnoty			
F <sub>c</sub>	U <sub>R1</sub>	U <sub>R2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
N	mV	mV	Ω	Ω
7,6	83	103,4	0,000518	0,000646

## Grafy okamžitých hodnot



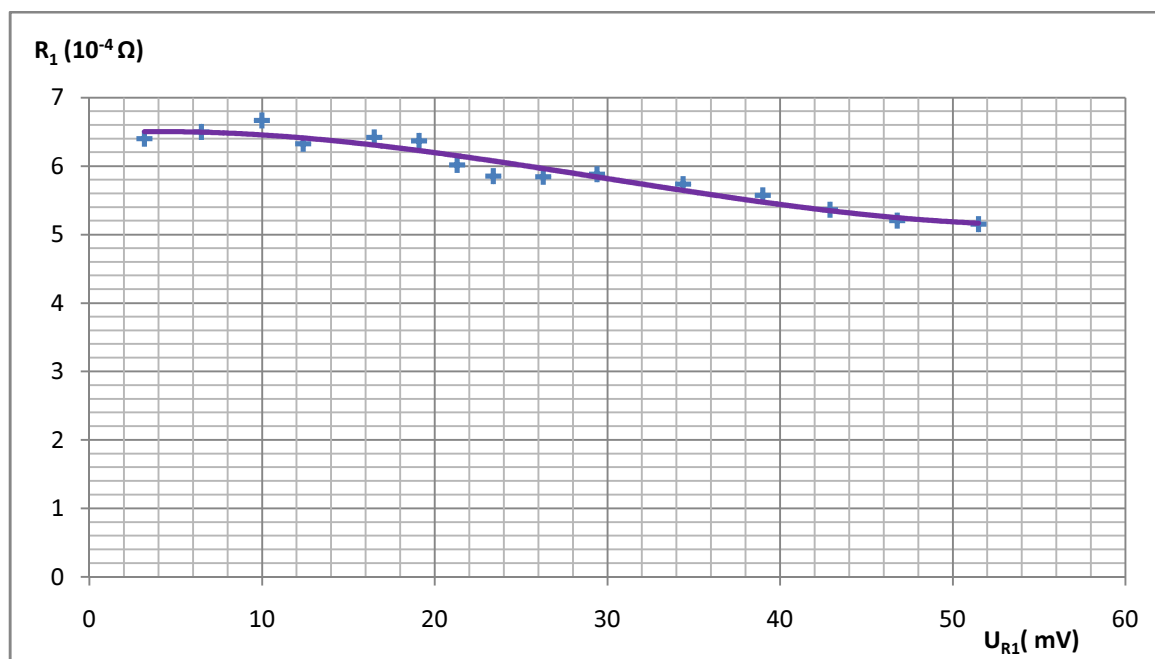
Graf č. 1 - Závislost  $R_1$  na  $U_{R1}$



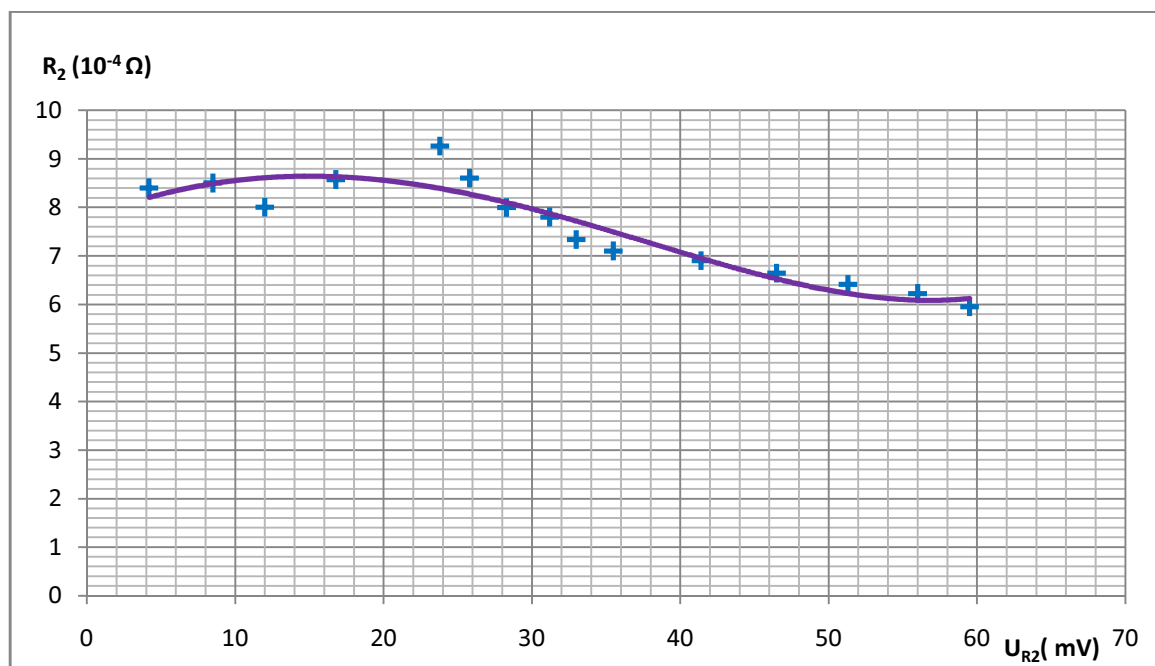
Graf č. 2 - Závislost  $R_2$  na  $U_{R2}$



## Grafy ustálených hodnot



Graf č. 3 - Závislost  $R_1$  na  $U_{R1}$



Graf č. 4 - Závislost  $R_2$  na  $U_{R2}$

## 4.2 Měření závislosti stykového odporu na přitlačné síle

Při tomto měření jsem nastavoval proud  $I = 40 \text{ A}$  ( $s f=50 \text{ Hz}$ ) a měnil velikost přitlačné síly. Pro danou sílu jsem vždy změřil úbytky napětí  $U_{R1}$ ,  $U_{R2}$  na kontaktech a spočítal jejich odpor  $R_1$  ( $R_2$ ). Do grafů jsem pak vynesl závislost stykového odporu  $R_1$  ( $R_2$ ) na celkové přitlačné síle  $F_C$ .

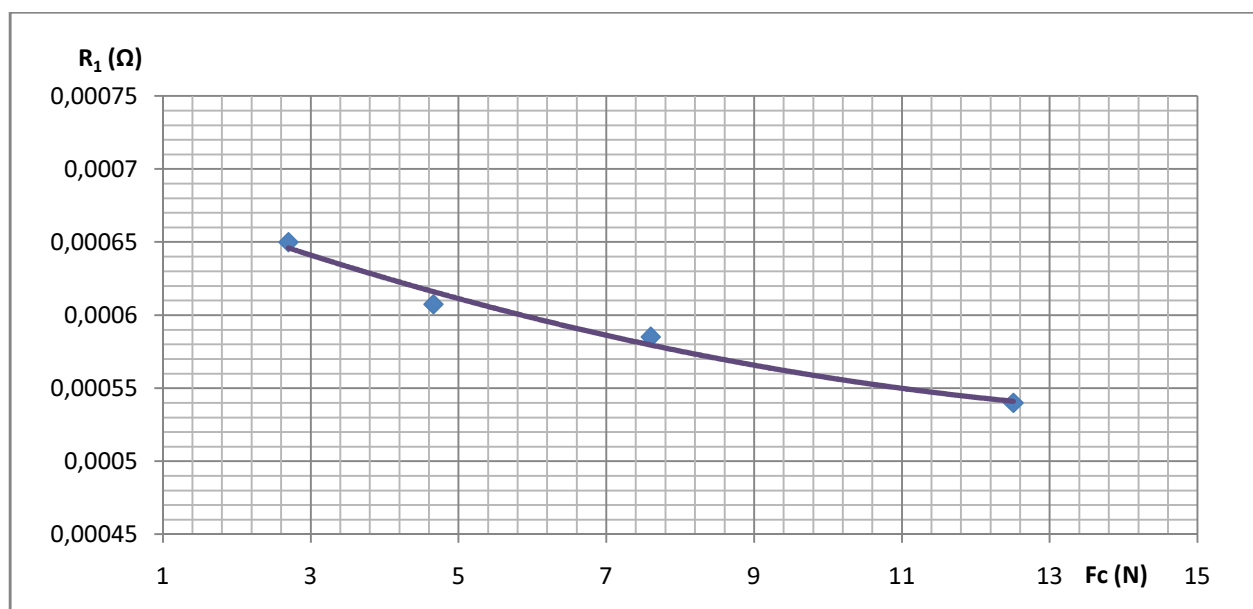
### Naměřené a vypočtené hodnoty

Tabulka č. 5 Měření závislosti stykového odporu na přitlačné síle

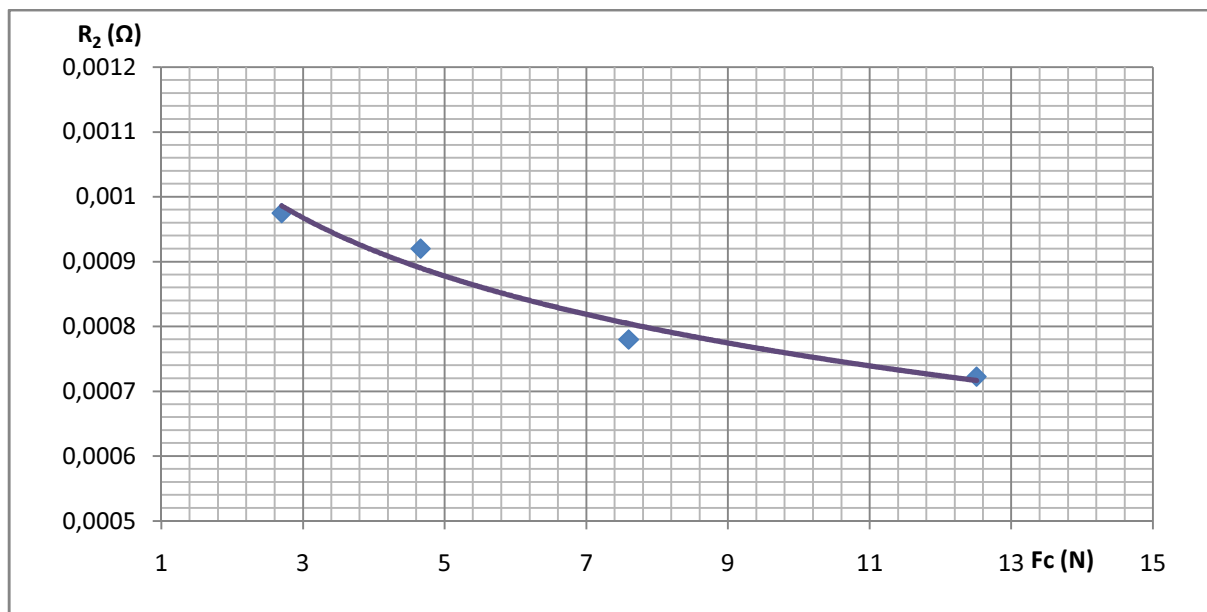
$F_C$	$U_{R1}$	$U_{R2}$	$R_1$	$R_2$
N	mV	mV	$\Omega$	$\Omega$
12,51	21,6	28,9	0,00054	0,000723
7,60	23,4	31,2	0,000585	0,00078
4,66	24,3	36,8	0,000608	0,00092
2,70	26	39	0,00065	0,000975

Měření při proudu  $I=40 \text{ A}$  s  $f=50 \text{ Hz}$ .

### Grafy závislosti stykových odporů na celkové přitlačné síle



Graf č. 5 - Závislost  $R_1$  na  $F_C$



Graf č. 6 - Závislost  $R_2$  na  $F_c$

## 4.3 Zhodnocení měření

### a) Měření RU charakteristiky

Z grafu je vidět, že jsem se při měření nedostal na bod měknutí. Při proudu 100 A dosáhly úbytky napětí na kontaktech přibližně poloviny hodnoty napětí měknutí stříbra, z něhož bude kontakt stykače pravděpodobně vyroben. Testoval jsem kontakty proudem 160 A, což byl desetinásobek jmenovité hodnoty proudu udávaného výrobcem na stykači. Kontakty se i při 160 A neslepily. Je pravděpodobné, že kontakty ve stykači budou navrženy na vyšší jmenovité proudy než 16 A.

### b) Měření závislosti stykového odporu na přitlačné síle

Z grafů je vidět, že s rostoucí přitlačnou silou klesal stykový odpor kontaktů. To odpovídalo teoretickým předpokladům. S rostoucím tlakem se zvětšovala styková plocha kontaktu a klesal odpor. Použité kontakty stykače jsou již od pohledu opotřebené. Méně opotřebovaný je první kontrakt, na němž byly i menší úbytky napětí při stejném proudu.

## **5. Závěr**

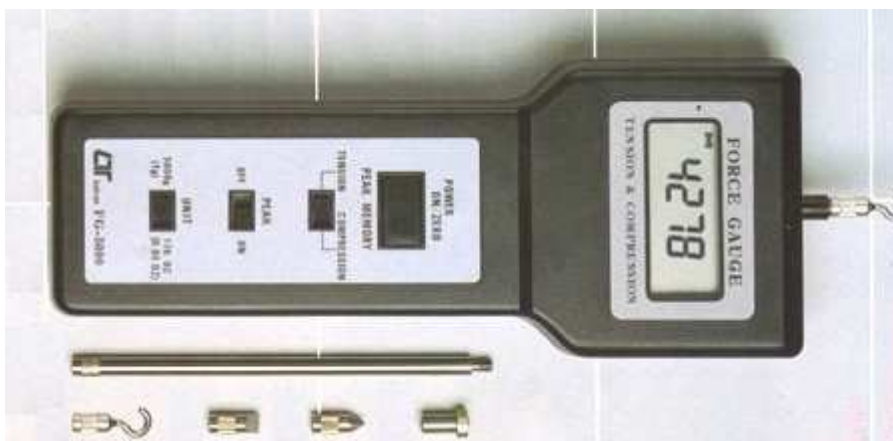
Ve své práci jsem se věnoval realizaci měřicího pracoviště pro měření na kontaktech. Pro měření na zadaném kontaktu jističe jsem nachystal výkonný proudový zdroj, vhodné měřicí přístroje a vyrobil přípravek, kterým se dá nastavit velikost přitlačné síly kontaktů do 50 N. Popis přípravku a návod na jeho seřízení před měřením je uveden v 3. Kapitole. Funkčnost měřicího pracoviště jsem ověřil měřením. Měřil jsem závislost stykového odporu na přitlačné síle a RU-charakteristiku kontaktu. Vyrobený přípravek je možno dále využít pro školní laboratorní měření.

## 6. Seznam použité literatury

- [ 1 ] Havelka O., a kolektiv; Elektrické přístroje, SNTL, Praha, 1985, 436 s.
- [ 2 ] Höft H.; Elektrische kontakte-Werkstoffe, Einsatzbedingungen, Zuverlässigkeit
- [ 3 ] Bulí B. K. a kolektiv; Elektrické přístroje – Základy teorie, SNTL, Praha, 1977, 538 s
- [ 4 ] Vávra Z.; Vysoké napětí a elektrické přístroje- Část II Elektrické přístroje
- [ 5 ] Havelka O., Elektrické přístroje 1, Praha 1974, 318s
- [ 6 ] Holm R.; Electric Contacts- Theory and Application
- [ 7 ] [http://hgf.vsb.cz/neu10/studium/ashv/texty/doly/08\\_b\\_sila\\_hmotnost.pdf](http://hgf.vsb.cz/neu10/studium/ashv/texty/doly/08_b_sila_hmotnost.pdf)
- [ 8 ] <http://www.automatizace.cz/article.php?a=510>
- [ 9 ] [http://www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/machacj/docs/MET\\_MECH.pdf](http://www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/machacj/docs/MET_MECH.pdf)

## 7. Přílohy

### Lutron FG-5000



Siloměr měří v obou směrech ( tah - tlak )

#### Parametry:

Měřicí rozsah	5000 g
Rozlišení	3 g
Přesnost	+/- (0,4 % + 1 dig )
Přetížení	7 kg
Displej	3 1/2 LCD, 10 mm vysoký
Napájení	6 x 1,5 V baterie nebo adaptér
Rozměry	227 x 83 x 39 mm
Hmotnost	0,551 g